

20. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΜΒΩΝ

20.1 Η Ιδιαίτερη Σημασία των Κόμβων

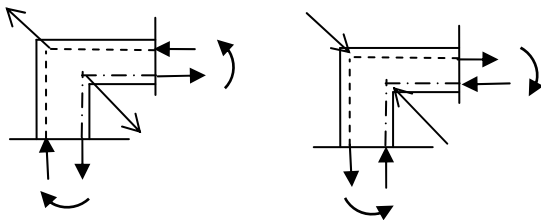
Ο ορθός σχεδιασμός των κόμβων είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για τους παρακάτω λόγους:

- Αστοχία των κόμβων συνεπάγεται αστοχία και των γραμμικών μελών που συντρέχουν σ' αυτόν.
- Λόγω της περιορισμένης έκτασής τους και της θέσης τους σε περίπτωση αστοχίας τους η αποκατάστασή τους είναι δυσχερής και επισφαλής.
- Οι κόμβοι είναι οι περιοχές αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων των γραμμικών μελών και ενδεχόμενη ρηγμάτωσή τους εξασθενεί τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού με συνέπεια οι ράβδοι του οπλισμού να μην μπορούν ν' αναπτύξουν τη μέγιστη δυνατή τάση τους και, ως εκ τούτου, τα γραμμικά μέλη να μην μπορούν ν' αναπτύξουν την πλήρη φέρουσα ικανότητά τους για την οποία έχουν σχεδιαστεί.
- Εκτεταμένη ρηγμάτωση των κόμβων μειώνει τη δυσκαμψία τους και αυξάνει τις αποκλίσεις των κατακόρυφων στοιχείων επαυξάνοντας τα φαινόμενα 2^{ης} τάξεως και τον κίνδυνο αστοχίας λόγω λυγισμού τους.

20.2 Η Αυξημένη Επιπόνηση των Κόμβων

Η επιπόνηση στην περιοχή των κόμβων είναι ιδιαίτερα δυσμενής για τους παρακάτω λόγους:

- Οι κόμβοι έντεινονται με τη συνισταμένη ένταση των γραμμικών μελών που συντρέχουν σ' αυτούς, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

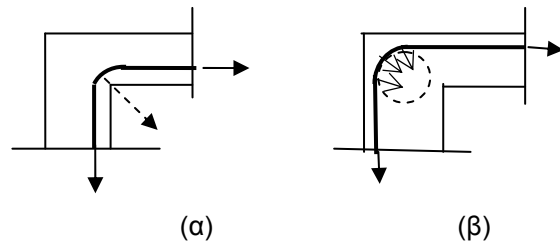


Σχ. 20.1 Αυξημένη επιπόνηση κόμβου με τη συνισταμένη ένταση των μελών

- Η επιπόνησή τους είναι κατά τη διεύθυνση της διαγωνίου τους και, γιαυτό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στο πάχος της επικάλυψης του

οπλισμού στην εισέχουσα γωνία, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α).

- Λόγω της αναγκαστικής απόκλισης από την ευθυγραμμία των διαμήκων οπλισμών, το σκυρόδεμα επιπονεύεται τοπικά με δυνάμεις άντυγας, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β) και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις λεπτομέρειες όπλισης (ακτίνες καμπύλωσης)



Σχ.20.2 (α) Κίνδυνος αποκόλλησης της επικάλυψης στις εισέχουσες γωνίες, (β) τοπική επιπόνηση του σκυροδέματος

20.3 Οι Αυξημένες Κατασκευαστικές Δυσχέρειες

Λόγω της αυξημένης επιπόνησής τους και της περιορισμένης έκτασής τους η ποσότητα του οπλισμού που προκύπτει από το σχεδιασμό τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Η διάταξη όλων των ράβδων του οπλισμού η ορθή αγκύρωσή τους και εν συνεχεία η ορθή σκυροδέτηση των κόμβων είναι ένα από τα μεγαλύτερα κατασκευαστικά προβλήματα το οποίο μέχρι σήμερα δεν έχει αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά.

20.4 Εναλλακτικές Μέθοδοι

Για την αντιμετώπιση των κατασκευαστικών προβλημάτων στην περιοχή των κόμβων έχουν προταθεί λύσεις, όπως η τοπική χρήση του (ιδιαίτερα δαπανηρού) ινωπλισμένου σκυροδέματος ή χρήση του (υπό ανάπτυξη) αυτοσυμπύκνουμένου σκυροδέματος), οι οποίες, όμως, δεν έχουν υιοθετηθεί στην πράξη.

Στην πράξη συνήθως πρακτική είναι να μην τοποθετείται όλος ο οπλισμός που προκύπτει από το σχεδιασμό τους με συνέπεια μειωμένη αντοχή τους.

Στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών του εργαστηρίου σκυροδέματος του ΕΜΠ, έχει εντοπιστεί η λύση μιας άλλης διάταξης του οπλισμού η οποία σχολιάζεται στο κεφ. 21.

20.5 Κριτήριο Σχεδιασμού Κόμβου: Περιορισμός Ρηγμάτωσης

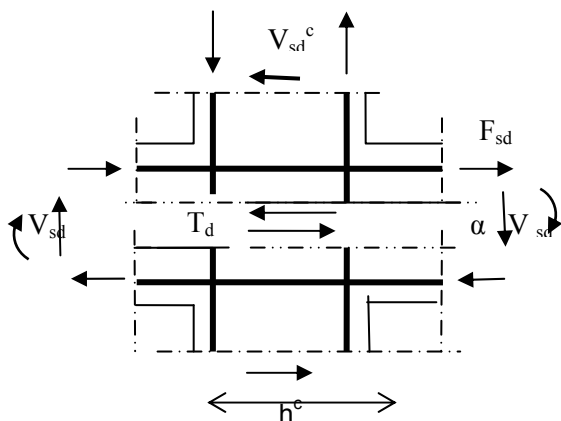
Επειδή οι κόμβοι είναι οι περιοχές αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων των γραμμικών μελών και, όπως σχολιάστηκε παραπάνω, ενδεχόμενη αστοχία τους έχει εκτεταμένες συνέπειες και η επισκευή τους είναι ιδιαίτερα δυσχερής και επισφαλής, η διαστασιολόγηση και η όπλισή τους βασίζεται **στον περιορισμό της ρηγμάτωσης τους** ώστε να αποφευχθεί η αστοχία τους.

Γιαυτό, μολονότι σχεδιάζονται για τα φορτία αστοχίας το φυσικό προσομοίωμά τους δεν είναι αυτό της αστοχίας τους, όπως στην περίπτωση των γραμμικών μελών.

20.6 Εντατική Κατάσταση στον Κόμβο

Η εντατική κατάσταση του κόμβου αντιστοιχεί σ' αυτή δίσκου, καθώς οι δυνάμεις που μεταφέρονται μέσω αυτού είναι κατά το μέσο επίπεδό του.

Ο κόμβος λειτουργεί ως μέσον μεταφοράς στο υποκείμενο υποστυλώμα των εντατικών μεγεθών του υπερκείμενου υποστυλώματος και των δοκών που συντρέχουν σ' αυτόν.



Σχ. 20.3 Ανάπτυξη διατμητικών τάσεων σε ενδιάμεσο κόμβο

Οι μεταφερόμενες δυνάμεις συνίστανται στο ζεύγος F_s και F_c της καμπτικής ροπής, στην αξονική N και την τέμνουσα V .

Στη γενική περίπτωση ενδιάμεσου κόμβου πολύστυλου και πολυώροφου πλαισίου τα μεγέθη επιπόνησης φαίνονται στο Σχ. 3.

> Ένταση λόγω της Αξονικής Δύναμης

Η αξονική των δοκών μεταφέρεται με ανάπτυξη ορθής τάσης σ_x ομοιόμορφα κατανεμημένης καθ ύψος του κόμβου.

Η αξονική του υπερκείμενου υποστυλώματος μεταφέρεται μέσω ορθών τάσεων σ_y ομοιόμορφα κατανεμημένων στο πλάτος του κόμβου.

> Ένταση λόγω Ροπής και Τέμνουσας

Η μεταφορά της καμπτικής ροπής και της τέμνουσας γίνεται μέσω ανάπτυξης διατμητικών τάσεων στον κόμβο.

Σε οριζόντια τομή στο μέσον του κόμβου, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, οι διατμητικές τάσεις τ αντιστοιχούν σε δρώσα τέμνουσα T_d ίση με τη συνισταμένη των οριζοντιων δυνάμεων στο τμήμα το υπερκείμενο της τομής.

Για τον κόμβο στο Σχ. 3 είναι:

$$T_d = (F_{cd} + F_{sd}) - V_{sd}^c \Rightarrow$$

$$T_d = f_{sd}(A_{s1}^l + A_{s1}^r)/z - V_{sd}^c \quad (1) \quad \text{ή}$$

$$T_d = (M_{sd}^l + M_{sd}^r)/z - V_{sd}^c \quad (1a)$$

Η τιμή της διατμητικής δύναμης T_d διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κόμβου

Θεωρώντας παραβολική μεταβολή της διατμητικής τάσης στη διατομή α-α στο Σχ. 3 διαστάσεων $b^c \cdot h^c$ (c : column στυλος) η μέγιστη διατμητική τάση τ που αναπτύσσεται δίνεται από τη σχέση (2):

$$2/3 \tau = T_d / (b^c \cdot h^c) \Rightarrow$$

$$\tau = 3T_d / (2 b^c \cdot h^c) \quad (2)$$

> Συνισταμένη Ένταση

Όπως προέκυψε παραπάνω η συνολική ένταση του κόμβου αντιστοιχεί στις τάσεις τ , σ_h , σ_v .

Από τη σύνθεση των τάσεων αυτών προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, μια λοξή εφελκυστική τάση σ_I και μια λοξή θλιπτική τάση σ_{II} .

Η τιμή τους προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

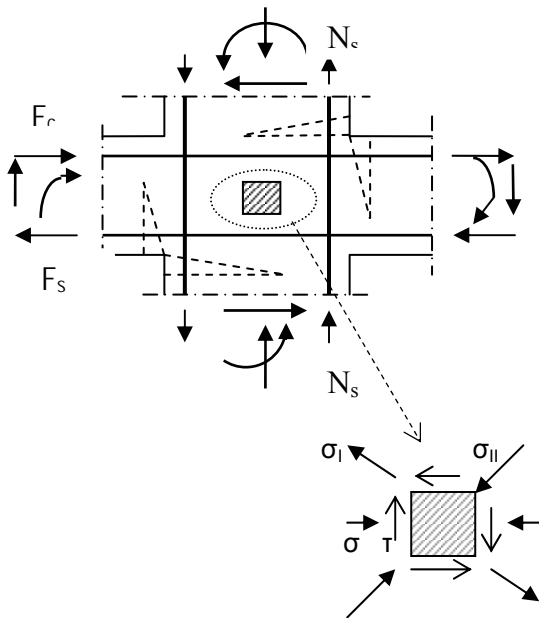
$$\sigma_I = (\sigma_x + \sigma_y)/2 - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{II} = (\sigma_x + \sigma_y)/2 + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau^2} \quad (4)$$

➤ **Εξάρτηση της Έντασης του Κόμβου από τη Διαστασιολόγηση των Γραμμικών Μελών**

Όπως προκύπτει από τη σχέση (1) η τιμή των διατμητικών τάσεων και, άρα, και των λοξών τάσεων εξαρτάται από τη διαστασιολόγηση των γραμμικών μελών.

Είναι διαφορετική για υπεροπλισμένες διατομές στις οποίες η ροπή αναλαμβάνεται με πολύ οπλισμό A_{s1} και μικρό μοχλοβραχίονα z και διαφορετική για υποοπλισμένες διατομές στις οποίες η ροπή αναλαμβάνεται με λίγο οπλισμό A_{s1} και μεγάλο z .



Σχ. 20.4 Λοξές εφελκυστικές τάσεις σ_I και θλιπτικές σ_{II} στον κόμβο

20.7 Το Αναπόφευκτο της Ρηγμάτωσης του Κόμβου

Για να παρεμποδιστεί η ρηγμάτωση οι λοξές τάσεις σ_{II} και σ_I πρέπει να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τάσεις.

$$\sigma_I < \epsilon_{\text{π}} \sigma_I = (2/3) f_{ct} \quad (5)$$

$$\sigma_{II} < \epsilon_{\text{π}} \sigma_{II} = 0,5 f_{ck} \quad (6)$$

Η εφελκυστική και θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος τίθενται μειωμένες λόγω της ετερόσημης διαξονικής έντασης του κόμβου.

Αντικαθιστώντας στη σχέση (5) τις τιμές των τάσεων συναρτήσει των μεγεθών στις σχέσεις (1), λόγω της μικρής τιμής της εφελκυστικής αντοχής f_{ct} του σκυροδέματος, προκύπτει ότι για τους περισσότερους τύπους κόμβων δεν είναι δυνατή για τις συνήθεις διαστασιολογήσεις των γραμμικών μελών να ισχύει η ανισότητα και, άρα, δεν είναι δυνατή η αποφυγή της ρηγμάτωσης του κόμβου.

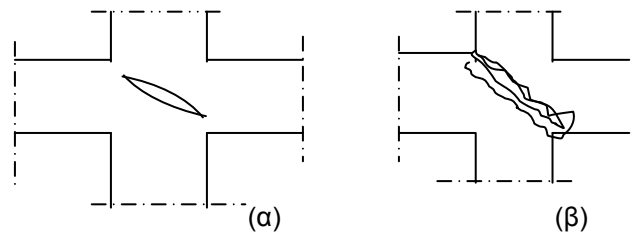
20.8 Διαστασιολόγηση του Κόμβου

Οι διαστάσεις του κόμβου επιλέγονται ώστε να ισχύει η ανισότητα (6) και να μην υπερβληθεί η λοξή θλιπτική τάση, καθώς υπέρβασή της σηματοδοτεί και την αστοχία του κόμβου, όπως σχολιάζεται παρακάτω.

20.9 Ρηγμάτωση και Όπλιση των Κόμβων

Με την αύξηση της επιπόνησης, όταν η αναπτυσσόμενη κύρια λοξή τάση σ_I ευπερβεί την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος εμφανίζεται λοξή ρωγμή, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(a).

Η ρωγμή εμφανίζεται κάθετα στη διεύθυνση της εφελκυστικής τάσης σ_I και, όπως σχολιάστηκε παραπάνω, είναι αναπόφευκτη για τα φορτία αστοχίας των γραμμικών μελών.



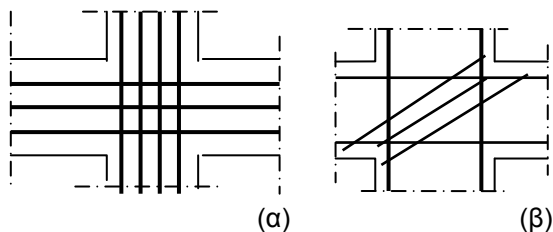
Σχ. 20.5 Ρωγμές από υπέρβαση τάσεων (α) υπέρβαση της σ_I και (β) υπέρβαση της σ_{II}

Για την ανάληψη των λοξών τάσεων σ_I και την παρεμπόδιση του ανεξέλεγκτου ανοίγματος των λοξών ρωγμών μετά την υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος διατάσσεται λοξός οπλισμός κατά τη διεύθυνση των λοξών τάσεων σ_I , όπως φαίνεται στο Σχ. 6(β), ή κλωβός οριζόντιων και κατακόρυφων συνδετήρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 6(a) ώστε

να καλύπτεται και η περίπτωση αντιστροφής της έντασης και της ρηγμάτωσης λόγω εναλλασσόμενης σεισμικής επιπόνησης.

Ο κλωβός των συνδετήρων προκύπτει με πύκνωση των συνδετήρων των υποστυλωμάτων και δοκών που συντρέχουν στον κόμβο.

Σε αρκετούς κανονισμούς απαιτείται και πρόσθετη διάταξη δισδιαγώνιου οπλισμού.



Σχ. 20.6 Οπλιση κόμβου (α) Κλωβός συνδετήρων (β) Λοξός οπλισμός

Στο Σχ. 5(β) φαίνεται η ρηγμάτωση του κόμβου σε περίπτωση υπέρβασης της λοξής θλιπτικής τάσης σ_{II} .

Εμφανίζονται κατά τη διεύθυνση της θλιπτικής τάσης και, άρα, στην ίδια θέση με τις προηγούμενες. Διακρίνονται απ' αυτές από τη μορφολογία τους. Είναι υπό τη μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος και όχι με τη μορφή καλά οριοθετημένων μεμονωμένων ρωγμών, όπως οι πρώτες.

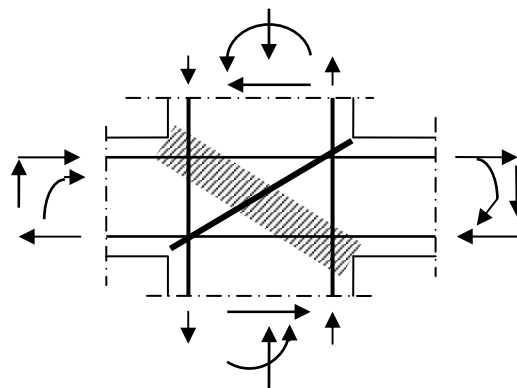
Η εμφάνισή τους σηματοδοτεί και την τελική αστοχία του κόμβου. Γιαυτό, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 20.8, το πάχος του κόμβου πρέπει να είναι επαρκές ώστε να αποφευχθεί η αστοχία αυτή.

20.10 Φυσικό Προσομοίωμα Κόμβου

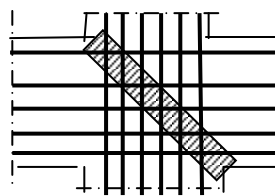
Όπως σχολιάστηκε παραπάνω, στην περιοχή του κόμβου αναπτύσσονται, εν γένει, λοξές εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις.

Η εντατική του κατάσταση αντιστοιχεί σ' αυτήν ενός λοξού ελκυστήρα και ενός λοξού θλιπτήρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.

Στην περίπτωση γωνιακών κόμβων, εμφανίζεται μόνον ένας λοξός θλιπτήρας ή ένας λοξός ελκυστήρας, ανάλογα με τη φορά των καμπτικών ροπών στα άκρα τους, όπως φαίνεται στο Σχ. 9.

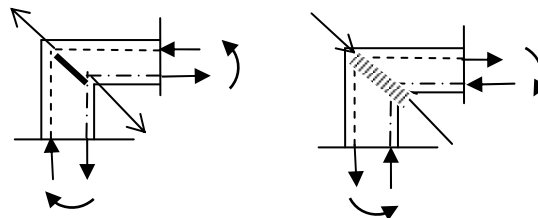


Σχ. 20.7 Φυσικό προσομοίωμα κόμβου πριν τη ρηγμάτωσή του: Ανάπτυξη λοξού θλιπτήρα και λοξού ελκυστήρα σκυροδέματος



Σχ. 20.8 Φυσικό προσομοίωμα κόμβου μετά τη ρηγμάτωσή του

Μετά την αστοχία του λοξού ελκυστήρα του σκυροδέματος, λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του, το φυσικό προσομοίωμα του φορέα αντιστοιχεί σ' αυτό ενός λοξού θλιπτήρα και διαμήκων και εγκάρσιων ελκυστήρων στις θέσεις των οριζόντιων και εγκάρσιων συνδετήρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.



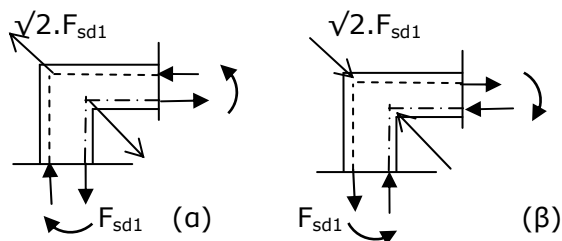
Σχ. 20.9 Φυσικό προσομοίωμα γωνιακού κόμβου

20.11 Σχεδιασμός Γωνιακών Κόμβων

Όπως φαίνεται στο Σχ. 9, στον κόμβο αναπτύσσεται λοξός ελκυστήρας στην περίπτωση θετικών ροπών και λοξός θλιπτήρας στην περίπτωση αρνητικών ροπών. Για ίδιο ύψος ζυγώματος και στύλου η δύναμη των ράβδων αυτών είναι ίση με:

$$F_D = \sqrt{2} \cdot F_{cd} = \sqrt{2} \cdot F_{sd1} = \sqrt{2} A_{s1} \cdot f_{sd} \quad (1)$$

(για μηδενική αξονική είναι $F_{cd} = F_{sd1}$).



Σχ. 20.9 Συνισταμένη ένταση στον κόμβο

Διακρίνονται οι περιπτώσεις κόμβων με θετική ροπή και κόμβων με αρνητική ροπή.

20.11.1 Κόμβοι με Θετική Ροπή

➤ Ρηγμάτωση

Όπως φαίνεται στο Σχ. 10, η δρώσα τέμνουσα T_d στον κόμβο είναι ίση με την εφελκυστική δύναμη F_{sd1} .

$$\max T_d = F_{cd} = F_{sd1} = A_{s1} \cdot f_{sd} \quad \text{ή} \quad (2)$$

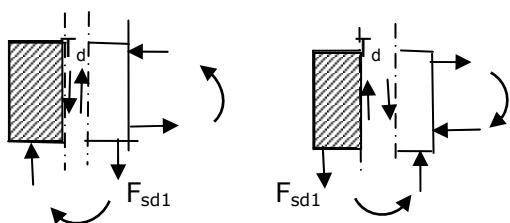
$$\max T_d = M_{sd}/z = M_{sd}/0,9d \quad (2a)$$

Θεωρώντας αμελητέα την αξονική του ζυγώματος είναι: $\max \sigma_I = \max \tau$.

Για να μην ρηγματωθεί ο κόμβος πρέπει να ισχύει:

$$\max \sigma_I = \max \tau < \epsilon \pi \sigma_I = (2/3) f_{ct} \quad (3)$$

Θεωρώντας παραβολική κατανομή των διατμητικών τάσεων τ μέσα στον κόμβο θα είναι:



Σχ. 20.10 Τέμνουσα στον κόμβο

$$\max \tau = 3/2 \tau_m = 3/2 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (bd) \quad (4)$$

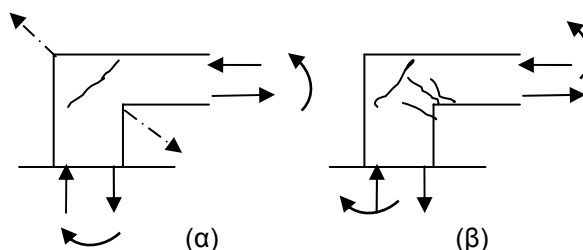
$$\text{ή} \quad \max \tau = 1/2 \tau_m = 3/2 \cdot T_d / (bd) = 3/2 \cdot M_{sd} / (b \cdot 0,9 d^2) \quad (4a)$$

Αντικαθιστώντας στην (3) την τιμή της $\max \tau$ από τις σχέσεις (4) προκύπτει:

$$3/2 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (bd) < 2/3 \cdot f_{ct} \quad (5)$$

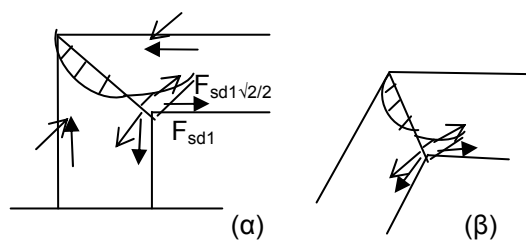
$$3/2 \cdot M_{sd} / (b \cdot 0,9 d^2) < 2/3 \cdot \quad (5b)$$

Για συνήθεις τιμές της ροπής M_{sd} ή του διαμήκου οπλισμού A_{s1} από τις σχέσεις (5) προκύπτουν υπερβολικά μεγάλες διαστάσεις για τον κόμβο.



Σχ. 20.11 Ρηγμάτωση κόμβου (α) λόγω λοξού εφελκυσμού, (β) συνολική ρηγμάτωση

Γιαυτό, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 20.7, η **ρηγμάτωση του κόμβου είναι αναπόφευκτη** και ο λοξός εφελκυσμός του κόμβου πρέπει να αναληφθεί από οπλισμό



Σχ.20.12 Ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στην εισέχουσα γωνία από την κάθετη στη διαγώνιο του κόμβου συνιστώσα της F_{s1}

Στο Σχ. 11 φαίνεται η εικόνα ρηγμάτωσης στον κόμβο, στο Σχ. 11(α) λόγω της λοξής εφελκυστικής τάσης σ_I και στο Σχ. 11(β) λόγω των εφελκυστικών ορθών τάσεων στην εισέχουσα γωνία, όπως φαίνεται στο Σχ. 12.

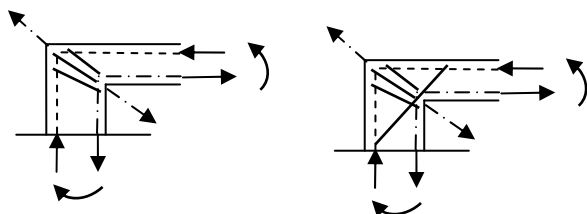
➤ Όπλιση

Πρέπει να διαταχθεί λοξός οπλισμός με εμβαδόν ίσο με $\sqrt{2} A_{s1}$ για να αναλάβει τη λοξή εφελκυστική δύναμη $\sqrt{2} F_{sd1}$, όπως φαίνεται στο Σχ. 9.

Ο οπλισμός αυτός μπορεί να είναι είτε λοξοί συνδετήρες, όπως φαίνεται στο Σχ. 12(α), είτε να προκύψει με συνέχιση και πύκνωση των συνδετήρων των γραμμικών μελών.

Η ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων στην εισέχουσα γωνία του κόμβου μπορεί να θεωρηθεί ότι γίνεται (έμμεσα) από τις διαμήκειες ράβδους των γραμμικών μελών.

Στην περίπτωση, όμως, κόμβων με μεγάλη γωνία απαιτείται διάταξη πρόσθετου κάθετου οπλισμού ίσου με $A_{s1}\sqrt{2/2}$, όπως φαίνεται στο Σχ. 13(β), γιατί, όπως φαίνεται στο Σχ. 12(β), οι εφελκυστικές τάσεις είναι μεγαλύτερες.



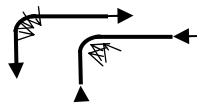
Σχ. 20.13 Όπλιση κόμβων

➤ **Διάταξη και Αγκύρωση των Διαμήκων Ράβδων**

• **Βασική Αρχή**

Επειδή, εν γένει, απαιτούνται μεγαλύτερα μήκη αγκύρωσης από τα διαθέσιμα ευθύ-γραμμα μήκη, οι ράβδοι πρέπει να κάμπτονται, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Οι ράβδοι τείνουν να ευθυγραμμιστούν όταν εφελκύνονται ή να διπλώσουν όταν θλιβούνται και, γιαυτό, στη θέση της απόκλισής τους από την ευθυγραμμία αναπτύσσονται δυνάμεις άντυγας, όπως φαίνεται στο σχήμα, οι οποίες επιπονούν το σκυρόδεμα στη θέση αυτή.



Η κάμψη των ράβδων θα πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε οι δυνάμεις άντυγας να μην είναι επιβαρυντικές για τη ρηγμάτωση του κόμβου (να μην τείνουν να αυξήσουν το άνοιγμα των ρωγμών).

• **Αγκύρωση Εφελκυσμένου Οπλισμού**

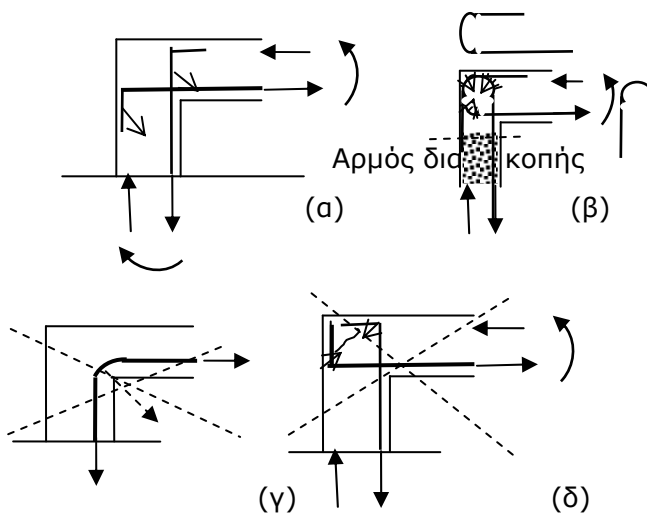
Οι εφελκυσόμενες διαμήκειες ράβδοι των ευθύγραμμων μελών πρέπει να διατάσσονται

και να αγκυρώνονται όπως φαίνεται στο Σχ. 14(α) ή (β).

Διάταξη των ράβδων όπως φαίνεται στο Σχ. 14(γ) οδηγεί σε εκτίναξη της επικάλυψης στην εισέχουσα γωνία.

Διάταξη όπως στο Σχ. 14(δ) είναι δυσμενής καθώς οι δυνάμεις άντυγας στο σημείο κάμψης των ράβδων τείνουν να διευρύνουν τη λοξή ρηγμάτωση του κόμβου.

Η διάταξη στο Σχ. 14(β) είναι αποδεκτή καθώς αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο σχήμα, και δυνάμεις άντυγας που κλείνουν τη λοξή ρωγμή.

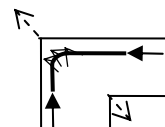


Σχ. 20.14 Αγκύρωση διαμήκων ράβδων (α) και (β) ορθή (γ) και (δ) λανθασμένη

Η διάταξη αυτή είναι προτιμότερη όταν προβλέπεται αρμός διακοπής της σκυροδέτησης στο υποστύλωμα (ο οποίος πρέπει να είναι κάτω από την κρίσιμη διατομή, όπως φαίνεται στο σχήμα).

• **Αγκύρωση Θλιβόμενου Οπλισμού**

Ο θλιβόμενος οπλισμός δατάσσεται, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Για να αποφευχθεί η εκτίναξη της επικάλυψης στην εξωτερική γωνία η ακτίνα καμπυλότητας της ράβδου πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη.

20.11.2 Κόμβοι με Αρνητική Ροπή

➤ Διαστασιολόγηση

Στον κόμβο αναπτύσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 9(β) λοξός θλιπτήρας. Για να μην αστοχήσει πρέπει να ισχύει η σχέση (6).

$$\max \sigma_{\parallel} = \max \tau < \epsilon \pi \sigma_{\parallel} = \nu f_{cd} \quad (6)$$

Αντικαθιστώντας στην (6) την τιμή της $\max \tau$ από τις σχέσεις (4) προκύπτει:

$$3/2 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (bd) < 0,6 f_{cd} \quad (7) \quad \text{ή}$$

$$3/2 \cdot M_{sd} / (b \cdot 0,9 d^2) < 0,6 f_{cd} \quad (7\beta)$$

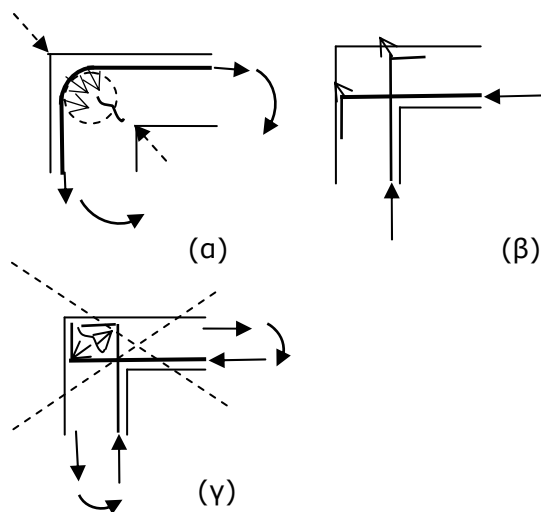
Από τις σχέσεις (7) προκύπτουν οι απαιτούμενες ελάχιστες διαστάσεις του κόμβου.

Από τη σχέση (7) προκύπτει ότι:

- ❖ Το απαιτούμενο πλάτος του κόμβου είναι τόσο πιο μικρό όσο πιο υποωπλισμένα είναι τα ευθύγραμμα μέλη (δηλ. η ροπή να αναλαμβάνεται με μεγάλο d και μικρό A_{s1})

➤ Όπλιση

Καθώς δεν αναπτύσσεται λοξός εφελκυσμός δεν απαιτείται ιδιαίτερος οπλισμός κόμβου. Αρκεί η συνέχιση και μέσα στον κόμβο των συνδετήρων των υποστυλωμάτων ή και των δοκών αν δεν εμποδίζεται η σκυροδέτηση.



Σχ. 20.15 Όπλιση κόμβου με αρνητικές ροπές

➤ Διάταξη και Αγκύρωση των Διαμήκων Ράβδων

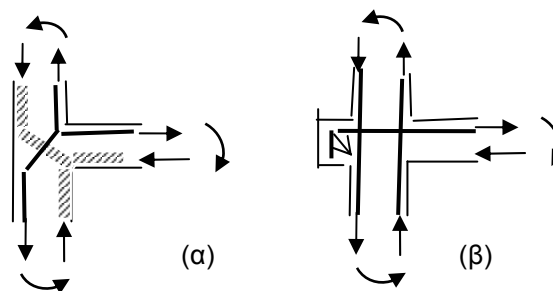
Η διάταξη των εφελκυσόμενων διαμήκων ράβδων μπορεί να γίνει όπως φαίνεται στο Σχ.

15(α), αλλά, όπως φαίνεται στο σχήμα, οι δυνάμεις άντυνας στη θέση καμπύλωσης των ράβδων επιβαρύνουν το λοξό θλιπτήρα που αναπτύσσεται και πρέπει να κρατηθούν μικρές. Γιαυτό, η ακτίνα καμπύλωσης των ράβδων πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη.

Η διάταξη των θλιβόμενων ράβδων μπορεί να γίνει, όπως φαίνεται στο Σχ. 15(β). Και στις ράβδους αυτές η ακτίνα καμπύλωσης των ράβδων πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη για να αποφευχθεί η εκτίναξη της επικάλυψης.

20.12 Σχεδιασμός Κόμβων T

Οι κόμβοι του τύπου αυτού, ιδιαίτερα αυτοί με την οριζόντια διάταξη, όπως στο Σχ. 16(β), είναι οι περισσότερο επιπονούμενοι (τόσο ως προς τις διατμητικές τάσεις στον κόμβο, όσο και ως προς τις τάσεις συνάφειας κατά μήκος των διαμήκων ράβδων) και χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.



Σχ. 20.16 (α) Φυσικό προσομοίωμα κόμβου
(β) Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

Όπως φαίνεται στο Σχ. 16 και 17, στους κόμβους αυτούς αναπτύσσεται λοξός ελκυστήρας και λοξός θλιπτήρας ταυτόχρονα.

Γιαυτό, για τη διαστασιολόγησή τους και την όπλισή τους ισχύουν αυτά που αναφέρθηκαν και για τους δύο προηγούμενους τύπους γωνιακών κόμβων: με λοξό ελκυστήρα (περίπτωση θετικών ροπών) και λοξό θλιπτήρα (περίπτωση αρνητικών ροπών).

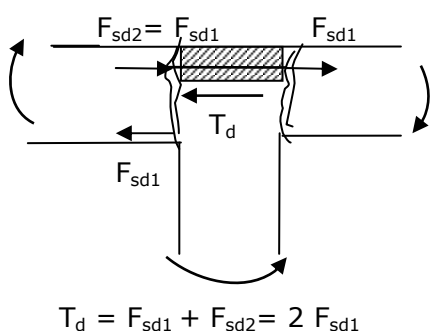
Όπως, όμως, εντοπίζεται παρακάτω, η τέμνουσα στον κόμβο έχει διπλάσια τιμή απ' αυτήν στους γωνιακούς κόμβους και, γιαυτό, απαιτούνται περισσότεροι οπλισμός και μεγαλύτερο πλάτος κόμβου.

Υπό σεισμική επιπόνηση μεγάλου μεγέθους ενδέχεται οι ρωγμές στα ζυγώματα να παραμείνουν ανοιχτές και μετά την αντι-στροφή της επιπόνησης με συνέπεια να μηδενιστεί η θλιπτική δύναμη F_{cd} του σκυροδέματος .

Στην περίπτωση αυτή η θλιπτική δύναμη αναλαμβάνεται όλη από το θλιβόμενο οπλισμό ο οποίος, γιαυτό, εντείνεται όσο και ο εφελκόμενος.

Από την ισορροπία του γραμμοσκιασμένου τμήματος του κόμβου στο Σχ. 16 προκύπτει ότι οι διατμητικές τάσεις στον κόμβο έχουν διπλάσια τιμή απ' αυτές στον γωνιακό κόμβο.

Η αγκύρωση των διαμήκων ράβδων είναι προτιμότερο να γίνεται εξωτερικά του κόμβου, γιατί όπως φαίνεται στο Σχ. 15(β), οι δυνάμεις άντυνας στη θέση κάμψης των ράβδων είναι επιβαρυντικές για το λοξό θλιπτήρα.



Σχ. 20.17 Διατμητική δύναμη στον κόμβο

Επιπλέον, **για κόμβους με οριζόντια διάταξη**, όπως στο Σχ. 18, κατά μήκος των άνω οριζόντιων διαμήκων ράβδων αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 18(α), **ιδιαίτερα μεγάλες τάσεις συνάφειας**.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, η απαιτούμενη δύναμη συνάφειας για την ισορροπία της άνω διαμήκου ράβδου είναι ίση με:

$$T_b = F_{sd1} + F_{sd2} = 2 F_{sd1}$$

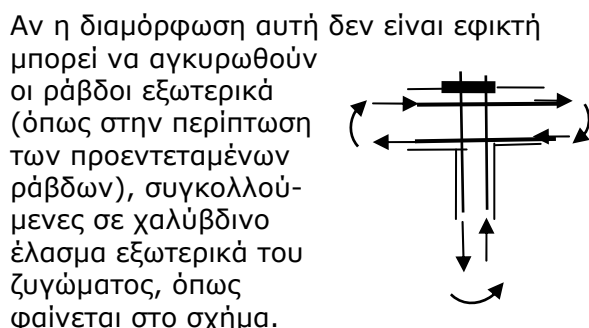
Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης των ράβδων αυτών είναι ίσο με $2l_b$ (διπλάσιο του βασικού μήκους αγκύρωσης). Για παράδειγμα για ράβδους $\Phi 16$ είναι $2(\Phi/4) \cdot (f_s/f_b)$ της τάξεως του 1,5 m.

Επειδή το διαθέσιμο μήκος είναι το ύψος της διατομής του στύλου υπολείπεται κατά πολύ από το απαιτούμενο, οι τάσεις συνάφειας

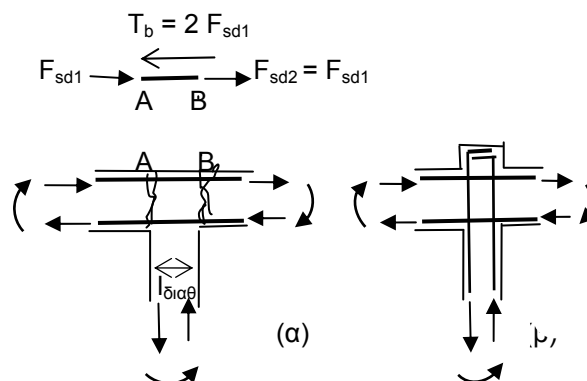
αναμένονται να υπερβούν κατά πολύ την αντοχή συνάφειας.

Γιαυτό για να αποφευχθεί σημαντική ολι-σθηση των διαμήκων ράβδων στους κόμβους αυτούς πρέπει:

- Να **χρησιμοποιούνται διαμήκεις ράβδοι μικρής διαμέτρου**, ώστε να μικρύνουν οι τάσεις συνάφειας.
- Να **συνεχίζονται και να πυκνώνονται μέσα στον κόμβο οι συνδετήρες των δοκών** ώστε να αυξήσουν τη συνάφεια των οριζόντιων ράβδων.
- Η **αγκύρωση των κατακόρυφων ράβδων να μεταφέρεται έξω** από τον κόμβο, όπως φαίνεται στο Σχ. 16(β), ώστε οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις άντυνας στα σημεία κάμψης των ράβδων να μην επιβαρύνουν τον κόμβο. Το σμαράκι που διαμορφώνεται καλύπτεται από την επικάλυψη των πλακών.



Αν η διαμόρφωση αυτή δεν είναι εφικτή μπορεί να αγκυρωθούν οι ράβδοι εξωτερικά (όπως στην περίπτωση των προεντεταμένων ράβδων), συγκολλούμενες σε χαλύβδινο έλασμα εξωτερικά του ζυγώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχ. 20.18 (α) Αυξημένες τάσεις συνάφειας στον οριζόντιο διαμήκη οπλισμό (β) Εξωτερική αγκύρωση των ράβδων

Στους κόμβους με κατακόρυφη διάταξη, όπως στο Σχ. 16(α), το πρόβλημα των τάσεων συνάφειας κατά μήκος των διαμήκων ράβδων του υποστύλωματος είναι λιγότερο έντονο, καθώς, λόγω της θλιπτικής αξονικής, δεν

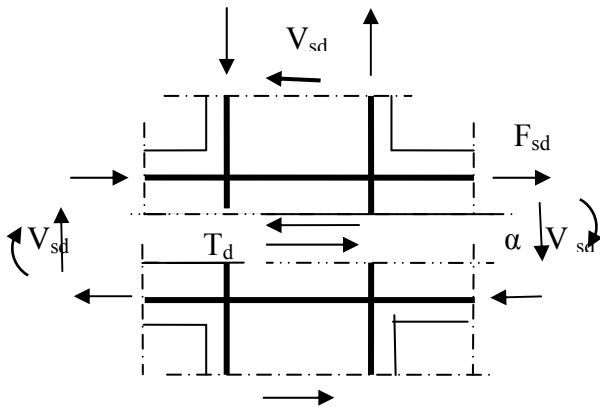
παραμένει ανοιχτή ρωγμή σ' όλο το ύψος της διατομής του υποστυλώματος και ο θλιβόμενος οπλισμός εντείνεται λιγότερο, επειδή δεν μηδενίζεται η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος.

20.13 Σχεδιασμός Κόμβων +

Ισχύουν τα ίδια με τους παραπάνω κόμβους.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 19, εντείνονται λιγότερο διατμητικά από τους προηγούμενους. Επίσης, η θλιπτική αξονική του υπερκείμενου υποστυλώματος καλυτερεύει τις συνθήκες συνάφειας των διαμήκων ράβδων.

$$T_d = (F_{cd} + F_{sd1}) - V_{sd}^c = 2 F_{sd1} - V_{sd}^c$$



Σχ. 20.19 Δυνάμεις Συνάφειας διαμήκων ράβδων